الفصل الثالث

الطاقة من لجّة من الجاذبية

ثقوب سوداء لا قرار لها

لقد قلنا مراراً من قبل، إن انطلاق موجات الجاذبية من الجسم الذي يدور حول ثقب أسود، يعد وسيلة للحصول على الطاقة. لكن هذه ليست طريقة لاستخراج الطاقة من الثقب الأسود نفسه، إنما هي مجرد طاقة مرتبطة بالجسم الذي يدور. ففي آخر المطاف يسقط الجسم نفسه (وجزء من موجات الجاذبية)، في الثقب الأسود، ولا يستخرج، إنما يزيد حجم كتلته، أي مقدار طاقته أيضاً.

ويظهر هنا السؤال التالي: ألا يمكن ابتكار عملية ما تقلص من كتلة الثقب الأسود وتستنفذ بذلك طاقته؟

يبدو للوهلة الأولى أن هذا غير ممكن، لأن أيّ شيء لا يخرج من الثقب الأسود، ومعنى هذا أن استخراج الطاقة من تحت دائرة الأفق غير ممكن. وهذا صحيح. بيد أننا أغفلنا في هذه المحاكمة واقع أن جزءاً من طاقة الثقب الأسود الذي يدور (أي جزءاً من كتلته أيضاً، مرتبط بالدوران بالذات، أي أنه يقع خارج الثقب، وهو كامن في الجزء العاصف من حقله. وهذا الجزء «الدوار» من الطاقة هو الذي يمكن انتزاعه من الثقب الأسود عن طريق تقليص كتلته. ولكن كيف نفعل ذلك؟

تخيل التجربة الآتية. يقع في إغروسفير ثقب أسود كبير، صاروخ محركاته مقفلة، وهو يتحرك حول الثقب الأسود باتجاه حركة دورانه. وعلى مقربة من الثقب الأسود يفتح الملاح المحركات النفاثة التي تطلق سيولاً من الغازات. وعلى هذا النحو يمكن تبديل حركة الصاروخ بحيث تسقط الغازات في الثقب الأسود، ويزيد الصاروخ

سرعته إلى درجة كبيرة منطلقاً من الإرغوسفير كأن «مقلاع» إعصار الجاذبية قذف به من هناك. إن السرعة الكبيرة للصاروخ سوف تكون أكبر بكثير من السرعة التي طار بها الصاروخ إلى الإرغوسفير، وسوف تكون أعلى بكثير من تغيير السرعة الذي أحدثه التشغيل القصير الأجل للمحركات. فما الذي حصل؟

لنتذكر أن حول الثقب الأسود إعصاراً دواراً من الجاذبية. وقد أرغم محرك الصاروخ الصاروخ على التحول إلى مدار جديد حيث التقطه هناك الإعصار وقذف به بسرعة هائلة إلى خارج الإرغوسفير. والطاقة التي حملها الصاروخ معه، هي الطاقة التي تلقاها من الإعصار، أي من طاقة الثقب الأسود «الدوارة». ولذلك يتناقص دوران هذا الأخير. وتبعاً لذلك تبدأ تتقلص أيضاً الكتلة الكاملة للثقب (بالمقدار الذي جرفه الصاروخ). وبهذه الوسيلة يمكن «استجرار» الطاقة من الثقب الأسود الدوار.

لقد كشف عن هذه العملية الشديدة الغرابة، الفيزيائي النظري الإنكليزي ر. بينروز. لكن الطاقة المستجرة في غضون ذلك، هي فقط الطاقة «الدوارة» الموجودة في الحقل العاصف خارج الثقب الأسود.

أما فيما يتعلق بمساحة دائرة الأفق، وهي التي توصّف أبعاد الثقب الأسود نفسه، فإن العملية الموصوفة هنا تفضي إلى زيادتها بعض الشيء، لأن غازات محرك الصاروخ التي سقطت في الثقب الأسود، تضيف إليها كتلة إضافية، فتزيد بذلك أبعادها.

ويمكن للصاروخ أن يجرف أكبر كم من طاقة الثقب الأسود «الدوارة» (إذا واصلت محركاته عملها لزمن متساوٍ)، في حال جرى تشغيل المحركات عند دائرة الأفق مباشرة. وفي هذه الحالة لن تتغير مساحة دائرة الأفق (لقد دعيت هذه العمليات بالعمليات المرتدة). ويمكن تكرار تشغيل المحرك على دائرة الأفق مراراً، وبذا يمكن انتزاع الطاقة «الدوارة» من الثقب الأسود من غير أن يطرأ تغيير على حجمه نفسه.

أما فيما يتعلق بالسؤال الخاص بإمكانية تقليص أبعاد دائرة الأفق في أي عمليات ما، فيجب أن تكون الإجابة عليه سلباً. فقد ظهر أن مساحة دائرة أفق الثقب الأسود لا تنقص أبداً في أي عمليات كانت وإذا ما تفاعل عدد من الثقوب السوداء بعضها مع بعض، فإن مجموع مساحات دوائر أفقها لا ينقص.

وهذه خاصية شديدة الأهمية. فينتج عنها على سبيل المثال، أن الثقب الأسود لن ينقسم إلى اثنين تحت أي تأثير كان. ولو حدث ذلك فإن مساحة دائرة أفقي الثقبين اللذين نشأا يجب أن تكون أقل من مساحة دائرة أفق الثقب الأصل، مع بقاء الطاقة نفسها. وعليه، فإننا كيفما قطعنا أوصال الثقب الأسود، إلا أن قوى الجاذبية المتدفقة لن «تتقطع» إلى أجزاء مهما كانت الوسيلة المستخدمة للتأثير عليها.

إن الثقوب السوداء يمكن أن يندغم بعضها مع بعض: ثقبان أسودان يتحركان وأحدهما صوب الآخر، يصطدمان فيندغمان في ثقب واحد. وعندئذٍ سوف تكون مساحة أفق الثقب الذي نشأ أكبر من مجموع مساحة أفقي الثقبين اللذين اصطدما. إذن ليس بمقدور أي عمليات كانت أن تقلص من أبعاد الثقوب السوداء.

وتعد الثقوب السوداء بعد نشوئها مهاوياً لا قرار لها. فلا يمكن تقليصها، ولا يمكن ملؤها، ولا يمكن «سدها»؛ إنها «ثقوب» أبدية في الفراغ والزمن، ثقوب ليست قابلة للزيادة على حساب المادة التي تتساقط فيها. إنها لجج من الجاذبية دائمة التنامي.

لكن الأمر في واقع الحال ليس على هذه الدرجة من الكآبة. أولاً إن الثقوب السوداء الموجودة في الظروف الحقيقية قادرة بفضل حقل جاذبيتها المهول، على إثارة عمليات عاصفة جداً؛ ثانياً، إن العمليات الكوانتية (التي لم تتطرق إليها حتى الآن)، تدخل تصويبات على اللوحة المرسومة هنا. وهذا ما سوف نتحدث عنه بالتفصيل لاحقاً.

قنبلة من الجاذبية

في دراستنا التي أجريناها على العمليات التي تحدث حول الثقب، والقادرة على استخراج الطاقة منه تبين لنا حتى الآن أنه يمكن استخراج هذه الطاقة إما على شكل إشعاع موجات الجاذبية، وإما على شكل الطاقة الحركية للأجسام المقذوفة من داخل

الإرغوسفير، بيد أنه ظهر أن هناك وسائل أخرى أكثر غرابة لاستخدام الثقوب السوداء كمولدات طاقة.

فلنتخيل أن الثقب الأسود الذي يدور يتعرض لموجات كهرومغناطيسية. فما الذي سيحدث في أثناء ذلك؟ يبدو للوهلة الأولى أنه لن يحدث أي شيء يثير الاهتمام: جاذبية الثقب الأسود سوف تخطف جزءاً من الموجات وتختفي هذه فيها إلى الأبد. أما ما يتبقى منها، فإنه سوف يلوى مساره لدى مروره على مقربة من الثقب الأسود ويمضي متابعاً. وقد دعي تغيير اتجاه انتشار الموجات، تشتتاً. وبعد أن تمضي الموجات الكهرومغناطيسية المشتتة بعيداً عن الثقب الأسود، سوف يكون لها التردد عينه الذي كان لها عندما اقتربت منه. ومن الواضح دون ريب أن تردد الموجات قد تغير أثناء الحركة على مقربة من الثقب في حقل الجاذبية القوي. فعندما تحركت الموجات صوب الثقب الأسود زادت طاقتها، وارتفع ترددها: لقد تعرضت الموجات لتحوّل بنفسجي. ومن ثم لدى ابتعادها عن الثقب الأسود تعرضت لتحوّل أحمر، وفي المحصلة بعيداً عن الثقب الأسود عاد ترددها إلى مدلوله الابتدائي.

وهكذا تحصل اللوحة العامة الآتية: لدى تعرض الثقب الأسود. للإشعاع، فإن قسماً من الموجات الكهرومغناطيسية يسقط فيه، والقسم الآخر يتشتت بالتردد عينه الذي كان قبل التشتت. وبسبب اختطاف قسم منها من قبل الثقب الأسود، فإن كثافة الموجات المتشتتة تغدو أقل من الكثافة البدئية للحزمة المشعة.

لكن كل شيء يبدو حتى الآن تافهاً. بيد أنه يمكن أن تحصل حالة تكون فيها كثافة الموجات الكهرومغناطيسية المتشتتة أكبر من كثافة الموجات المشعة. ولكي يحصل هذا من الضروري أولاً، أن يكون الثقب الأسود دواراً، لأن الطاقة الدوارة وحدها التي يمكن أن تنتزع منه. ثانياً، من الضروري أن يكون تردد الموجات الكهرومغناطيسية التي يتعرض لها الثقب الأسود، أقل من تردد دورانه هو. ففي مثل هذه الحالة سوف تكون الموجات الكهرومغناطيسية المتشتتة أكثر كثافة من تلك المتساقطة. وقد دعيت عملية التقوية هذه: الإشعاع الفائق. وكان الأكاديمي يا. زيلدوفيتش هو الذي اكتشفها. والإشعاع الفائق يحاكي من حيث الجوهر عملية

زيادة طاقة الجسم المقذوف من الإرغوسفير والجارف معه الطاقة «الدوارة» للثقب الأسود؛ ونحن كنا قد وصفنا هذه العملية من قبل (أثناء الإشعاع الفائق تُجرف طاقة الثقب الأسود «الدوارة» أيضاً). وتجدر الإشارة إلى أنه لدى تعرض الثقب الأسود لإشعاعات الموجات الكهرومغناطيسية فإن زيادة قوتها ليست كبيرة: 4.4٪ كحد أقصى.

ولا تتجلى ظاهرة الإشعاع الفائق فقط لدى تعرض الثقب الأسود للموجات الكهرومغناطيسية، بل لدى تعرضه للأنواع الأخرى من الإشعاعات أيضاً. فموجات الجاذبية الضعيفة التردد والمتساقطة على الثقب الأسود الدوار، سوف تتزايد قوتها. ونقول في السياق، إن شروط نشوء ظاهرة الإشعاع الفائق، هي نفسها بالنسبة لأنواع الإشعاع الأخرى كلها: ينبغي أن يكون تردد الموجات ضعيفاً بما يكفي. ولكن معامل القوة يكون مختلفاً بين نوع وآخر. فهو يشكل بالنسبة لموجات الجاذبية 130٪، أي أكبر بكثير منه بالنسبة للإشعاع الكهرومغناطيسي.

لكن لنعد إلى الموجات الكهرومغناطيسية. فلنحط الثقب الأسود الدائر بمجال اصطناعي يعكس الموجات الكهرومغناطيسية. وليكن في داخل هذا المجال كمّ لو ضئيل، من الموجات الكهرومغناطيسية التي تحقق لها ظرف نشوء ظاهرة الإشعاع الفائق. وعندما تتساقط هذه الموجات على الثقب الأسود، تتزايد قوتها وتمضي بعيداً عن الثقب. وهنا تلاقي المجال العاكس، فتنعكس وتندفع ثانية صوب الثقب الأسود حيث تقوى من جديد. وتتكرر العملية مرة إثر الأخرى، فتتنامى طاقة الإشعاع المتزايدة قوة، على شكل تيار جارف.

وإذا ما أحدثنا ثقباً في المجال العاكس، فإن قسماً من الموجات المتزايدة القوّة، سوف يخرج عبره إلى الخارج، وبذا يغدو تصميمنا وحدة توليد إشعاع كهرومغناطيسي، تتحول فيها الطاقة «الدوارة» للثقب الأسود مباشرة إلى إشعاع كهرومغناطيسي.

ولنفرض الآن أنه ليس في المجال العاكس أي ثقب، وأن المجال كله يعكس الإشعاع الكهرومغناطيسي المتزايد القوة كاملاً. عندئذٍ سوف تتواصل عملية تزايد

الطاقة الكهرومغناطيسية داخل مثل هذا التصميم تزايداً كارثياً مدمراً، إلى أن يمزق ضغط الإشعاع المجال العاكس، أي يحدث الانفجار. وقد دعي هذا التصميم: «قنبلة» الجاذبية.

وننوه هنا إلى أن إنشاء مثل تصاميم الجاذبية هذه، المولدة للطاقة الكهرومغناطيسية، ليس له الآن أي مغزى، لأننا غير مؤهلين لإنشاء ثقوب سوداء اصطناعية بطريقة ضغط المادة بقوة خارقة، أما الثقوب السوداء الطبيعية، فهي تقع بعيداً جداً في الفضاء.

وراء حدود لجّة الجاذبية

لقد تحدثنا حتى الآن عن العمليات التي تجري حول الثقب الأسود. وها نحن نتحول إلى الخاطف المثير للفضول نفسه: سنحاول أن ندنو إلى حدود الثقب الأسود، من أطراف هذه الهوة التي لا قرار لها، ونحاول أن ننظر إلى داخلها.

وعلى أيّ حال، نحن نعرف أن استخدام كلمة «ننظر» هنا، هو استخدام غير موفق. فمن المستحيل أن نرى ما يحدث في داخل الثقب الأسود، وحتى بلوغ حدوده أمر غير ممكن. فمن أجل هذا لا بد من أن نتقصى داخل الثقب الأسود. وهذا من حيث المبدأ أمر ممكن، عن طريق السقوط الحر البسيط (داخل جهاز فضائي)، في حقل جاذبية الثقب مثلاً. فخلال وقته الخاص المتناهي، سوف يبلغ مثل هذا المراقب دائرة أفق الثقب ويتابع سقوطه التالي.

ولكننا نعرف أن لمثل هذه الرحلة عواقب شديدة الخطورة بالنسبة لرائد الفضاء. فمن الثقب الأسود لا شيء يعود، ولا شيء يخرج إلى الفراغ الخارجي. ورائد الفضاء بدوره لن يعود أبداً مهما بلغت قوة محركات سفينته. ولن يكون بمقدوره أيضاً أن يرسل لنا أي رسالة عن مشاهداته (مع أنه يستطيع أن يتلقى منا الرسائل). ومع ذلك فإن القيام بمثل هذه الرحلة ممكن من حيث المبدأ. ولكن ما الذي ينتظر رائد الفضاء في جوف الثقب الأسود؟

وقبل أن نرحل مع رائد الفضاء، من المهم أن نتذكر ظاهرة أخرى من ظاهرات الجاذبية، وهي ظاهرة معروفة جيداً لجميعهم. والمقصود هنا، هو قوى الجاذبية الجارفة. وتتجلى هذه القوى لأن لكل الأجسام الواقعة في حقل الجاذبية بعضاً من الأبعاد. وحقول الجاذبية لا تكون متماثلة أبداً، وتتعرض مختلف نقاط الأجسام المجذوبة لقوة من الجاذبية متغايرة بعض الشيء.

لنفرض أن الجسم يقع في حقل جاذبية كوكب. عندئذٍ سوف تتعرض نقاط الجسم الأقرب إلى الكوكب لجاذبية أقوى من تلك التي تتعرض لها النقاط الأبعد. ويدعى هذا التغاير في قوة الجذب، بقوة المد الساعية إلى تمديد الجسم، إلى تمزيقه. وبقدر ما تكون قوة المد أقوى، بقدر ما تزداد حدة تبدل حقل الجاذبية بين نقطة وأخرى. ومثل هذه القوة «المتغيرة» تتجلى أيضاً لدى سقوط الجسم سقوطاً حراً، ولدى سكونه أيضاً. وهي تختلف في هذا اختلافاً حاداً عن فعل الجاذبية نفسه، فهذا الأخير لا يتجلى في حالة السقوط الحر للجسم.

ومن البدهي أن قوى المدّ تكون ضعيفة وغير ملحوظة في الظروف العادية، كما في قمرة السفينة الفضائية التي تدور حول الأرض على سبيل المثال، وهي غير ملحوظة أيضاً بالنسبة للأجسام العادية على سطح الأرض. بيد أنها تتنامى طرداً مع أحجام الأجسام. ولذلك فهي تظهر (بوضوح كبير) بالنسبة للأرض كلها التي تتعرض لجاذبية القمر. والقوى التي نحن بصددها، هي التي تثير ظاهرات المد في المحيطات، ومن هنا جاءت تسميتها.

لنعد الآن إلى المراقب الذي سقط في الثقب الأسود. دعونا نضعه أولاً على سطح نجم يعاني حالة الانهيار النسبي. فقوى الضغط المتنابذة التي لمادة النجم، عملياً لن تبدي في غضون ذلك أي مقاومة للجاذبية المتنامية، فيتجاوز سطح النجم مجال الجاذبية ويواصل انكماشه. وليس بمقدور هذه العملية أن تتوقف، وخلال فاصل زمني قصير (حسب ساعة المراقب على سطح النجم) ينكمش هذا السطح ويتجمع في نقطة، أما كثافة المادة فتغدو لا متناهية. تنشأ، كما يقول الفيزيائيون، الحالة السينغولارية. فبماذا تتصف هذه الأخيرة؟

من غير أن ندخل في التفاصيل، نجيب على هذا السؤال هكذا: لدى الاقتراب من الحالة السينغولیارية تنزع قوى المد الجاذبة نحو اللا نهاية. ويعني هذا أن كل جسم (بما في ذلك المراقب الذي تخيلناه)، سوف يتمزق. والمصير عينه بانتظار كل جسم يسقط في الثقب الأسود بعد انكماش النجم، فهو يبلغ بدوره الحالة السينغولیارية. فهل يمكن تفادي السقوط في السينغولیارية بطريقة ما، إذا كان الجسم قد وصل دائرة الأفق؟

والجواب، هو لا. فالسقوط في السينغولیارية حتمي لا مفر منه. ومهما ناور رائد الفضاء بسفينته، ومهما كانت قوة المحركات، فالسفينة سوف تسقط سريعاً في السينغولیارية.

إن «أطول» وقت يمكن أن تعيشه السفينة في جوف الثقب الأسود بعد أن تعبر دائرة الأفق، يساوي تقريباً، الزمن الذي يقطع الضوء خلاله مسافة تساوي بعد الثقب الأسود. إنه ومضة قصيرة. إن «أطول» وقت للعيش بالنسبة لثقب كتلته عشرة أضعاف كتلة الشمس، لا يساوي سوى جزء من مائة ألف جزء من الثانية.

ولكي تعيش السفينة الفضائية هذا الوقت «الأطول»، ينبغي عليها أن تجرى المناورة الآتية: ينبغي تشغيل المحرك بكامل طاقته لدى السقوط في الثقب الأسود، ولدى الدنو من دائرة الأفق، تشغيله بشكل يتم التوقف فيه عند دائرة الأفق تقريباً. وبعد ذلك ينبغي إيقاف المحرك عن العمل وإتاحة الفرصة للسفينة لكي تسقط سقوطاً حراً على طول نصف القطر (من دائرة الأفق حتى السينغولیارية). وسوف يكون زمن مثل هذا السقوط، هو الزمن الأقصى الذي تعيشه السفينة. وأي محاولات يقوم بها رواد الفضاء لإيقاف السقوط في الثقب الأسود عن طريق تشغيل المحرك، أو توجيه السفينة في حركة مدارية، لن تؤدي إلا إلى سقوط السفينة في السينغولیارية في زمن أقصر (حسب ساعة رائد الفضاء).

وقد يتساءل القارئ: كيف يمكن أن يحدث هذا؟ حسن، نوافق على أن عمل المحركات لا يستطيع أن يتجاوز قوة الجذب الهائلة التي في جوف الثقب الأسود ويوقف السفينة، ولكن الفرملة يجب على أي حال أن تبطئ سرعة السقوط بعض الشيء وتجعلها تتواصل قليلاً؟ في أقل تقدير ينبغي ألا تسرع الفرملة من عملية السقوط!

ولكن هذا غير ممكن في جوف الثقب الأسود. ويكمن الأمر هنا في أن رائد الفضاء عندما يشغل المحرك فإنه يزيد من سرعة سفينته (فلندعوها *A*) بالنسبة للسفينة الساقطة سقوطاً حراً (ندعوها *B*). ولكن الوقت يسير على السفينة التي زادت سرعتها، أكثر بطئاً. ولهذا العامل دور حاسم في جوف الثقب الأسود. إن السفينة *A* سوف تسقط في السينغولیارية على أي حال من الأحوال. بيد أنه لأن الساعة سارت عليها ببطء جوهرى من وجهة نظر السفينة *B*، لذلك استغرقت عملية السقوط كلها على الساعة *A* زمناً أقل. فإذ تسير الساعة *A* سيراً أبطأ، فإنها «تجمع» ثواني (أو أجزاء الثانية) أقل، أي أن السقوط من وجهة نظر هذه الساعة، كان أقل استمرارية! وهذا هو التناقص الظاهري.

لنعد الآن إلى قوى المد الجاذبة. وهيا بنا نقارن بين قوى المد التي تؤثر على رواد الفضاء في قمرة سفينة فضائية على مدار حول الأرض، وقوى المد التي تؤثر على رائد الفضاء الساقط في الثقب الأسود.

ففي الحالة الأولى تمدد قوى المد جسم رائد الفضاء بصورة غير ملحوظة قط، فتأثيرها يوازى ضغط جزء من عشرة مليارات جزء من الضغط الجوى.

ولكن لدى السقوط في الثقب الأسود فإن هذه القوى كبيرة جداً حتى على الحدود. فقد تبين إنه بقدر ما تكون كتلة الثقب وبعده أقل، بقدر ما تكون قوى المد أكبر على دائرة الأفق. فبالنسبة للثقب الذي كتلته أكبر بألف ضعف من كتلة الشمس، فإن قوى المد توازي ضغط مائة ضغط جوي. وغني عن البيان أن الجسم لا يستطيع أن يتحمل مثل هذا العبء. وبالنسبة للثقوب السوداء الأصغر، فإن قوى المد على الحدود أكبر من ذلك...

وعليه، إذا كانت كتلة الثقب الأسود أكبر من كتلة الشمس بأقل من ألف مرة، فإن الإنسان الذي يقترب منها يموت.

ومن البدهي إنه لدى سقوط السفينة الفضائية حتى في ثقب أسود كبير جداً، لا يتهدد الإنسان على حدوده خطر أن تمزقه قوى المد، فإن السفينة سوف تبدأ في نهاية المطاف تسقط سقوطاً لا يمكن أن يوقفه شيء، صوب السينغولیارية؛ وعندئذٍ فإن قوى المد المتزايدة من غير حدود سوف تمزق في الأحوال كلها أي جسم كان.

وعلى هذا النحو فإن رائد الفضاء، رغبة منه في ألا ينتحر، لن يدخل بإرادته مجال الثقب الأسود.

لقد درسنا هنا تجربة ذهنية متخيلة مريعة، لكي نبين جوهر الظاهرة الرئيسة التي تنشأ في جوف الثقب الأسود: التنامي الجارف لقوى المد التي تنتهي بالسينغولیارية. فلماذا الأمر مهم إلى هذا الحد؟

يكمن الأمر هنا في أن قوى المد الهائلة تؤدي في ضواحي السينغولیارية نفسها، إلى تغيير القوانين الفيزيائية التي وضعت في شروط بعيدة عن التجريبية. ونحن سوف نتعرف إلى بعضها في الجزء الثاني من هذا الكتاب. وسنكتفي الآن بالقول، إن الفراغ والزمان في السينغولیارية لا يكتفيان «بالالتواء التواء حاداً وحسب، بل ربما يفقدان طابع الاستمرارية أيضاً، وينقسمان إلى فواصل مستقلة لا تنقسم أكثر: كوانتات. ونحن لن نتوقف لنفصّل في هذا، أولاً لأن القارئ نفسه تعب من محاولات تصوره لأشياء على هذه الدرجة من الغرابة، وثانياً لأن العلماء النظريين أنفسهم لا يعرفون ما الذي يحدث هناك بالضبط. إنه التخم الأول لعلم الجاذبية.

ولكن ما بات معروفاً عن جوف الثقب الأسود معرفة يقينية، يثير الاهتمام إلى درجة كبيرة. وتعد هذه المعارف ثمرة عمل مضن ومعقد قام به علماء نظريون في مختلف بلدان العالم.

وقد تمثلت واحدة من أكبر الصعوبات في الكشف عما يجري داخل الثقب الأسود في واقع الأمر، وليس في حالة نموذجية متخيلة. فبماذا يتميز واقع الحال عن النموذجي المتخيل؟ عادة ما يلجأ العلماء النظريون إلى النمذجة لكي يبسطوا المعادلات التي يعملون على حلها. فقد افترضوا مثلاً، انكماش نجم كروي لا تحيد كرويته قيد أنملة عن الشكل الدائري. وبالنسبة لمثل هذه المسألة المنمذجة، تكون المعادلات أسهل بما لا يقاس منها في الحال العامة. وقد نجحوا في دراسة جوف الثقب الأسود الكروي الناشئ وحل معادلاتها. ولكن حتى بعد الحصول على الحل تطلب الأمر عشرات السنين إلى أن تمكّن الفيزيائيون من فهم بنية هذا الجوف فهماً نهائياً.

أما واقع الأشياء فهو أن النجم لا يمكن أن يكون شكله الكروي مثالياً. وفي أثناء عملية الانكماش يتزايد الحيد عن الشكل الكروي. فما الذي يحدث عندئذٍ؟ لم

تستطع الطرائق المباشرة لحل المعادلات أن تقدم أي عون في هذا الشأن. فليس ثمة حلول عامة للمعادلات هنا. لقد كان الحصول على إجابة يتطلب حدة ذكاء حقيقية في علم الرياضيات.

عندما تطلع على مثل هذه الأعمال، تسأل نفسك دائماً كيف أمكن الوصول إلى مثل هذا الحل غير العادي للمسألة المطروحة؟ وكان إ. كيبلر الذي اكتشف قوانين حركات النجوم، قد قال قولاً رائعاً في هذا الشأن: «إني أرى في السبل التي يسلكها الناس للولوج إلى كنه الظاهرات السماوية، سبلاً مدهشة مثلها مثل هذه الظاهرات نفسها».

لقد تحقق النجاح الأول على يدي العالم النظري الإنكليزي ر. بينروز. فقد أظهر أنه لدى انكماش جسم كروي جديد حقيقي، تظهر السينغولیارية بالضرورة في الثقب الأسود الناشئ، أي تظهر منطقة ذات قوى جاذبة جارفة لا حدود لقوتها.

لقد برهن ر. بينروز على أن عدم إمكانية تفادي نشوء السينغولیارية في داخل الثقب الأسود ينتج من حيث جوهر الأمر، عن حقيقة عدم إمكانية أن نرسم على الورقة خارطة كروية للأرض كلها، بحيث تأتي النقاط القريبة من سطح الأرض كلها قريبة على الخارطة أيضاً. ونحن نعلم مثلاً، أن رأس د. يجينيف وألاسكا غالباً ما يظهران على خارطة العالم الموحدة، على طرفيها المتعاكسين، بينما هما في واقع الأمر متقاربان. وقياساً على هذه الحقيقة المعروفة توصل بينروز بفطنه مميزة إلى برهانه.

ولكن هل كل الأجسام الساقطة في ثقب أسود واقعي، تسقط بالضرورة، في السينغولیارية؟ لقد حاول كثير من العلماء النظريين أن يبحث في هذا. وفي منتصف سبعينيات القرن العشرين بدأت مع أ. دوروشكيفيتش بحل هذه المسألة، ثم عملت عليها مع الفيزيائي الشاب أ. ستاروبينسكي والعلماء النظريين الأمريكان. وتعد هذه المسألة الآن منتهية: لقد نجحنا في إثبات أن السقوط في السينغولیارية أمر حتمي.

ويجدر بنا أن نذكّر مرة أخرى بأن المشاهد الموجود خارج الثقب الأسود، لا يعرف عن الأحداث الجارية في داخله كلها إلا معرفة نظرية وحسب. فليس بمقدوره أن يتلقى عنها أي معطيات، أي أشارات من داخل دائرة أفق الثقب الأسود. وقد قال الفيزيائي الهندي الشهير، الذي يقيم في الولايات س. تشاندرا سكهار، عن هذا ما يلي:

«في خلال دراستي للظاهرات المرتبطة بدوائر أفق الأحداث وعدم إمكانية نقل أي معلومات عبرها، غالباً ما رددت بيني وبين نفسي الحكاية السحرية التي سمعتها عن الطبيعة، منذ خمسين عاماً في الهند. وتدعى هذه الحكاية: "لم تفقد، بل اختفت وحسب". والحكاية عن يرقات اليعسوب التي كانت تعيش في قاع بركة ماء. فقد كانت هذه مشغولة دوما باللغز التالي: ما الذي سيحصل لها عندما تكبر ويشتد عودها، هل ستصعد إلى سطح البركة وتعبره وتختفي كي لا ترجع ثانية أبدا؟ لقد كانت كل يرقة تتعهد، عندما تكبر وتستعد للصعود إلى فوق، بأن تعود لتروي لرفيقاتها اللواتي بقين في القاع عما يجري فوق. فهذه هي الطريقة الوحيدة لتأكيد أو دحض الشائعات التي كانت تطلقها الضفدعة: لقد زعمت هذه أن كل يرقة تعبر سطح البركة إلى الجهة الأخرى من العالم المعتاد، تتحول إلى كائن غريب له جسد طويل متين وجناحان متلألئان. ولكن اليرقة كانت تتحول فور خروجها من الماء إلى يعسوب ليس بمقدوره مع الأسف الشديد أن ينزل تحت سطح الماء مهما حاول ذلك، ومهما جال ورفرف فوق سطحه البلوري. وليس في الحوليات التي تدونها اليرقات، أي سطر يحكي عن يرقة عادت وقصت عن الذي يحدث لأولئك اللائي عبر حدود عالمهن. ثم تنتهي الحكاية بالشكوى التالية: هل يعقل أن واحدة منا لن تعود وتكشف السر، على أقل تقدير رحمة بمن قذفنا بهن إلى تحت؟»

كلا، لا شيء أكثر بساطة من الثقوب السوداء وأكثر تعقيداً منها

وهكذا نكون قد اطلعنا على فيزياء الثقوب السوداء، وعلى ما يحدث في ضواحيها وما يمكن أن يحدث في داخلها. وربما كان القارئ يوافق على أن الثقوب السوداء أجسام استثنائية تماماً لا تشبه أي شيء مما هو معروف حتى الآن. فهي ليست أجساماً بالمعنى المعتاد للكلمة، وهي ليست إشعاعاً. إنها ثقوب في الفراغ والزمن، ثقوب تظهر بسبب التواء الفراغ التواء حاداً، وتغير طابع جريان الزمن في حقل الجاذبية المتنامي تنامياً لا يقف في وجهه شيء.

ونحن كنا قد بينا في الفقرات السابقة أيضاً، أن الثقوب السوداء بمعنى من المعاني أجسام شديدة البساطة. ولا تتعلق خاصياتها بأي حال من الأحوال بخاصيات المادة التي كانت قد انهارت، ولا بتعقيدات تركيب المادة، وبنيتها النووية، والحقول الفيزيائية الموجودة فيها. ولا بكون المادة من الهيدروجين أو الحديد أو... فلدى تشكل الثقب الأسود تبدو خاصيات الجسم الذي انهار كلها، وكأنها اندثرت، فلا هي تؤثر على حدود الثقب الأسود، ولا على أي شيء آخر في الفراغ الخارجي، ولا يبقى سوى حقل الجاذبية الذي لا يتصف إلا بوسيطين أثنين: الكتلة والدوران (لقد أشرنا سابقاً إلى أن وجود الشحنة الكهربية الشاملة، ليس من سمات الأجسام السماوية). وبهذا يتحدد شكل الثقب الأسود وأبعاده، وخاصياته الأخرى كلها. وبناء على ذلك فإننا نستطيع أن نقول بثقة كاملة، إنه ليس ثمة ما هو أكثر بساطة من الثقب الأسود: إن الجسم الإنساني على سبيل المثال، أكثر تعقيداً بما لا يقاس، فلا يمكنك توصيفه بعددين كما هي حال الثقب الأسود.

ومرة قال الفيزيائي الأمريكي كيب ثورن متعجباً من بساطة الثقوب السوداء: «تخيل أنه بالإمكان الحكم على سمات طباع المرأة كلها وفق وزنها ولون شعرها فقط!».

بيد أنه ليس ثمة ما هو أكثر تعقيداً من الثقوب السوداء أيضاً: إنه ليس بمقدور الخيال البشري أن يتخيل إلى أي درجة يلتوي الفراغ ويتغير مجرى الزمن إذ يظهر فيهما الثقب الأسود. إن دراسة فيزياء الثقوب السوداء تتيح لنا زيادة معارفنا عن الخاصيات الأساسية للفراغ والزمن. وكما سنرى لاحقاً، فإن عمليات كوانتية مثلاً، تظهر في ضواحي الثقوب السوداء، فتكشف عن بنية ما يدعى بالفراغ الفيزيائي الشديدة التعقيد. كما تحدث عمليات كوانتية أكثر جبروتاً (جبارة جبروتاً مدمراً)، في داخل الثقب الأسود نفسه (على حدود السينغولیارية). إن اكتشاف الثقوب السوداء تجريبياً في الطبيعة ستكون له أهمية فائقة بالنسبة للعلوم الطبيعية. فهذا سيمكن العلماء من دراسة القوانين الجديدة التي تتحكم بخاصيات الفراغ والزمن في حقول الجاذبية القوية،

والقوانين الجديدة التي تتحكم بحركة المادة في الشروط غير العادية. وبتعبير آخر، إن الثقوب السوداء، هي الباب الذي يفضي إلى أوسع مجالات معارفنا عن العالم الفيزيائي.

ولكن إلى أي حد تصل واقعية الثقوب السوداء؟ لقد أشرنا سابقاً إلى أن إنشاءها صناعياً لا يزال أمراً غير ممكن؛ إلا أن ظهورها في الكون بطريقة طبيعية، أمر ممكن.